学龄前儿童 24 小时动作行为与抑制控制的关联：成分数据分析方法

朱昭红[2] 张士臣[1*] 徐秦豫[1] 毛俊茜[1] 陈圆圆[1] 温晓妮[2]
1 西安体育学院研究生部，西安，710000
2 西安体育学院运动与健康科学学院，西安，710000

摘要：学龄前儿童正处于抑制控制发展的“关键期”，尽管以往研究发现身体活动会改善儿童的抑制控制能力，但该能力是如何受到 24 小时动作行为的综合影响尚存争议。因此，本研究采用相关问卷测量 24 小时动作行为，使用 Fish flanker 和 Emotional flanker 范式测量学前儿童的“冷”、“热”抑制控制，采用成分数据的等时替代模型，探究 24 小时动作行为与学龄前儿童“冷”、“热”抑制控制的关联。结果发现学龄前儿童 24 小时动作行为与其“冷”、“热”抑制控制存在显著性关联，且以牺牲久坐行为或低强度身体活动为代价增加中高强度身体活动的时间，或者牺牲久坐行为或低强度身体活动为代价增加睡眠时间与学龄前儿童“冷”、“热”抑制控制的积极变化有关。提示“冷”、“热”抑制控制的变化可以用学龄前儿童的日常 24 小时动作行为成分来解释，且这一变化因动作行为的不同组合而异。

关键词：学前儿童，24 小时动作行为，“冷”、“热”抑制控制，成分等时替代分析

1 引言

抑制控制是执行功能的一个子成分，是指个体通过控制自己的注意、行为、想法或情绪来抵制强烈的内在反应倾向或外在诱惑的心理过程(Diamond & Adele, 2013)。这一能力在儿童的认知、情绪和社会功能的发展中起着至关重要的作用。以往在儿童认知发展领域内的研究主要集中在“冷”抑制控制上，但李滢(2011)的研究表明，“冷”抑制控制和“热”抑制控制对学前儿童的发展都有着重要的影响。其中，“冷”抑制控制是指在没有情绪诱发的情况下，学前儿童能够自我控制行为和认知的能力，例如，在任务中控制冲动或选择合适的行为反应。而“热”抑制控制则是指在情绪诱发的情况下，学前儿童能够自我控制行为和情绪的能力(王玲凤，2013)。研究表明，学前儿童的情感调节能力在其学业表现、高级认知功能领域同样至关重要(Ghanbari et al., 2023; Harrington et al., 2020)。同时，在儿童的日常生活中，“冷”抑制控制和“热”抑制控制通常交织在一起，共同塑造着他们的行为和决策。

神经影像学研究指出，儿童的前额叶皮层(prefrontal cortex, PFC)在学前期发展迅速，特别是与认知抑制和情感调节密切相关(Garon et al., 2008)的腹内侧前额叶皮层(ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC)和背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)区域，这

* 国家重点研发计划课题（2020YFC2006904）；西安体育学院扶优课题（2023FY003）
通讯作者：张士臣，E-mail：z17863527040@163.com

些区域与抑制控制能力的增强有关(Zelazo et al., 2008)，在学前儿童的抑制控制发展中起着关键作用。而身体活动、久坐行为与睡眠均是与学前儿童前额叶皮层发展密切相关的动作行为。研究发现，适度的身体活动可以改善前额叶皮层功能，这是与抑制控制密切相关的大脑区域(Hillman & Biggan, 2017)。通过运动，儿童可能提高神经可塑性，促进前额叶皮层的发展，从而增强抑制控制能力(Ludyga et al., 2016)；同时，久坐行为（尤其是长时间的电子设备使用）已被发现可能导致前额叶皮层的不活跃，从而影响抑制控制能力(Gapin & Etnier, 2010)；此外，睡眠不足与前额叶皮层功能下降相关，正常的睡眠有助于维护前额叶皮层的稳定性，促进抑制控制，这可能是抑制控制的关键神经机制之一(Chaput et al., 2016)。

在抑制控制的行为表现方面，身体活动、久坐行为和睡眠时间是影响学前儿童抑制控制的 3 个重要因素。大量证据表明，身体活动与抑制控制能力有关。例如，有氧运动如跑步，能对儿童、青少年的认知控制、执行功能和学业成绩产生积极影响(Best, 2010; Hillman et al., 2009; Koepp et al., 2022; Park et al., 2023; Ziereis & Jansen,2015)；相比之下，过多的久坐行为与儿童、青少年较低的认知水平和自我控制能力有关(Carson et al., 2015; Li et al., 2022; McNeill et al., 2021; Rai et al., 2023)；同时，充足的睡眠对儿童的认知能力和情绪管理能力也有着积极影响(Bernier et al., 2021; Bruni et al., 2020; Cho et al., 2017; Spencer, 2021)。尽管上述研究证实了身体活动、久坐行为和睡眠能够作为抑制控制的独立预测因素，但研究者逐渐意识到并达成共识，即这些行为是相互依赖和相互作用的，应同时考虑。由于一天中身体活动、久坐行为和睡眠所花费的时间总和是固定的 24 小时，这些行为被称为“24 小时动作行为”，与此同时这些行为之间彼此是相互排斥的，也就是说如果改变花在一种行为上的时间需要至少在另一种行为上进行补偿性改变(Bezerra et al., 2021; Dumuid et al., 2019)，因此需要从三种行为的整体组合上来分析它们对个体健康结果的综合效应(Mekary, Michel et al., 2013; Mekary, Willett et al., 2009; Prochaska, 2008)。

2016 年，加拿大运动生理学会发布了世界上首个针对儿童和青少年(5-17 岁)的 24 小时综合运动指南(Tremblay et al., 2016)，引领了 24 小时动作行为即身体活动(Physical Activity, PA)、久坐行为(Sedentary Behavior, SB)和睡眠(Sleep Duration, SLP)整体化研究的新趋势。指南中涉及到的研究证据指出儿童的总运动量与身体、心理/社会和认知健康指标有良好的关系(Poitras et al., 2016);观看电视和屏幕时间等久坐行为时间较长与心血管代谢疾病风险评分、敌对行为/社会行为指标、较差的体质和自尊有关(Carson et al., 2016)；儿童睡眠时间较短与健康状况较差有关(Chaput et al., 2016)。随后，各国 24 小时运动指南相继发布，当前 24 小时动作行为领域的研究已取得一定的进展，应用范围从成人扩展到了老年人领域(Stamatakis et al., 2015)，例如研究显示，合理的 24 小时动作行为模式，如适量中高强度身体活动、减少久坐行为时间，可以带来肥胖率下降、心血管功能改善等正面健康效应(Chastin et al., 2015)。但目前多数研究集中在成人群体，针对儿童尤其是学前儿童的研究还比较有限(Carson et al., 2017)。此外，现有的 24 小时动作行为的相关研究主要集中在身体成分(Dumuid et al., 2018; Fairclough et al., 2017)、身体素质(Carson et al., 2017; Ekblom-Bak et al., 2016)等方面，而很少

有研究关注24小时运动行为与学前儿童高级认知发展之间的关系，特别是对儿童自我调节至关重要的执行功能(张婷 等，2023; Carson et al., 2017; Grgic et al., 2018; Sampasa-Kanyinga et al., 2020)。学龄前阶段是儿童生理、心理发育的关键期，良好的动作行为模式的养成对其健康将产生深远的影响。因此，需要更多研究关注学前儿童的24小时动作行为模式与其认知发展的综合效应。

此外，由于24小时动作行为涉及“成分数据”，每个成分非负数且相加总和为常数（24小时），具有“定和限制”特性(Chastin et al., 2015)。而传统回归分析方法在处理成分数据时存在一些局限性，即传统回归通常基于主要的自变量和因变量之间的线性关系，Pedisic 等人(2017)和 Dumuid 等人(2018)指出在成分数据中，各成分之间可能存在非线性关系以及多重共线性，导致传统回归模型难以准确地捕捉这些复杂的关系，可能引发模型的不稳定性和解释性降低。张婷和李红娟(2020)的研究指出成分数据分析是目前相关研究公认的研究方法，它可以估计所有24小时动作行为相对分布的综合影响，且解决了多重共线性的问题。成分等时替代模型是在成分数据分析基础上，采用基于对数比转换的多元线性回归模型，进而研究不同动作行为的时间重新分配对因变量的预期差异。

基于此，本研究采用横截面研究方法，通过成分数据分析和成分等时替代模型，探究24小时动作行为与学龄前儿童“冷”和“热”抑制控制的关系，进而构建学前儿童“冷”、“热”抑制控制的24小时运动行为最佳剂量反应的关系模式。同时为学龄前儿童抑制控制能力的培养以及为我国学前儿童24小时运动指南的更新和修订提供科学的依据。

2 方法

2.1 调查对象

根据 G*power 3.1 软件(Faul et al., 2007)，本研究将 Power 值（1-β）设置为 0.8，α值设置为 0.05，效应量 d 设置为 0.15，计算所需最小样本量为45人。研究选取来自陕西省某幼儿园的66名3-6岁学龄前儿童（男童32人，女童34；平均年龄5.02±0.62岁），在研究开始之前取得了所有儿童的父母或法定监护人参与研究的同意，并填写知情同意书。

2.2 研究工具

（1）24h 动作行为问卷

24h 动作行为包括身体活动、久坐行为和睡眠时间。

身体活动和久坐行为采用吴海军(2018)编制的学龄前儿童身体活动特征及影响因素调查问卷来测量，该问卷具有良好的信效度。身体活动问卷包含跑步、散步、滑梯等20个日常身体活动项目，调查内容为近一个周每天参与次数和每次参与时间（分钟）。根据作者规定的范围计算出低等强度身体活动(Light Physical Activity, LPA)、中高等强度身体活动(Moderate-vigorous Physical Activity, MVPA)；久坐行为问卷包含电子游戏、看电视、做手工等8个日常久坐项目，调查内容为近一个周每天参与次数和每次参与时间（分钟），根据所填内容可计算出久坐行为(Sedentary Behavior, SB)的时间。

睡眠时间(Sleep Duration, SLP)参考了国内学者 Wu 等人(2017)编制的夜间睡眠时长调查

问卷(Nighttime Sleep Duration on Weekdays Questionnaire)，具体通过以下 3 个问题进行调查：1）最近一个月，通常您的孩子工作日晚上几点钟上床睡觉？周末晚上几点钟上床睡觉？2）最近一个月，通常您的孩子工作日早上几点钟起床？周末早上几点钟起床？3）回忆您的孩子最近一个月工作日/周末白天的小睡次数和睡眠持续时间，然后勾选出您的孩子白天睡觉的总时长。具体计算公式为：睡眠时长=［（工作日白天睡眠时长＋工作日夜晚睡眠时长）×5＋（周末白天睡眠时长＋周末夜晚睡眠时长）×2］/7。

（2）“冷”抑制控制任务

采用 Psychopy 2021.2.3 编制的 Fish Flanker 任务测量“冷”抑制控制。实验材料以卡通小鱼的图片进行呈现，以小鱼的头朝向方向代替经典任务中的箭头指向，所有图片尺寸和像素统一，如图 1 所示。程序将刺激呈现在 5 条水平排列的鱼中，这些鱼的方向不同，分为一致条件（即所有鱼的方向相同）或不一致条件（即观察到鱼的多个方向）。儿童的目标是正确识别中间鱼（目标鱼）的方向。

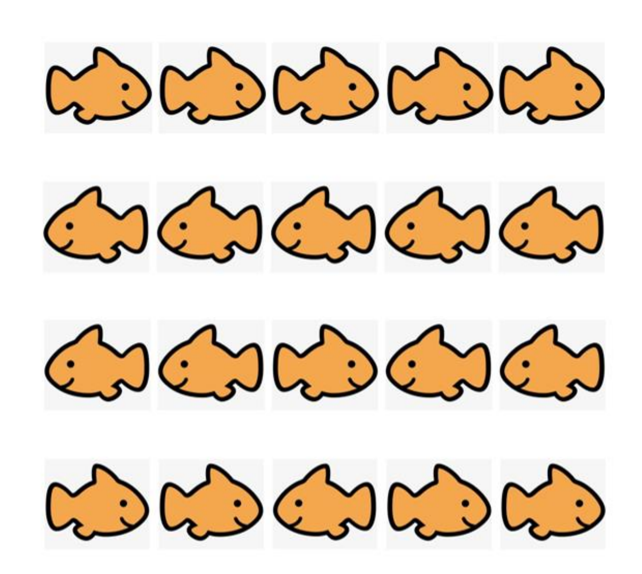


图 1 Fish Flanker 实验材料

（3）“热”抑制控制任务

采用 Psychopy 2021.2.3 编制的 Emotion Flanker 任务测量“热”抑制控制，实验材料以卡通笑脸和卡通难过表情的图片进行呈现，所有图片尺寸和像素统一，如图 2 所示。实验程序由 Psychopy 2021.2.3 编制。程序将刺激呈现在 5 个水平排列的表情中，这些表情的效价不同，分为一致条件（即所有表情的效价相同：均为积极/消极表情）或不一致条件（即观察到表情的多个效价）。儿童的目标是正确识别中间表情（目标表情）的效价。

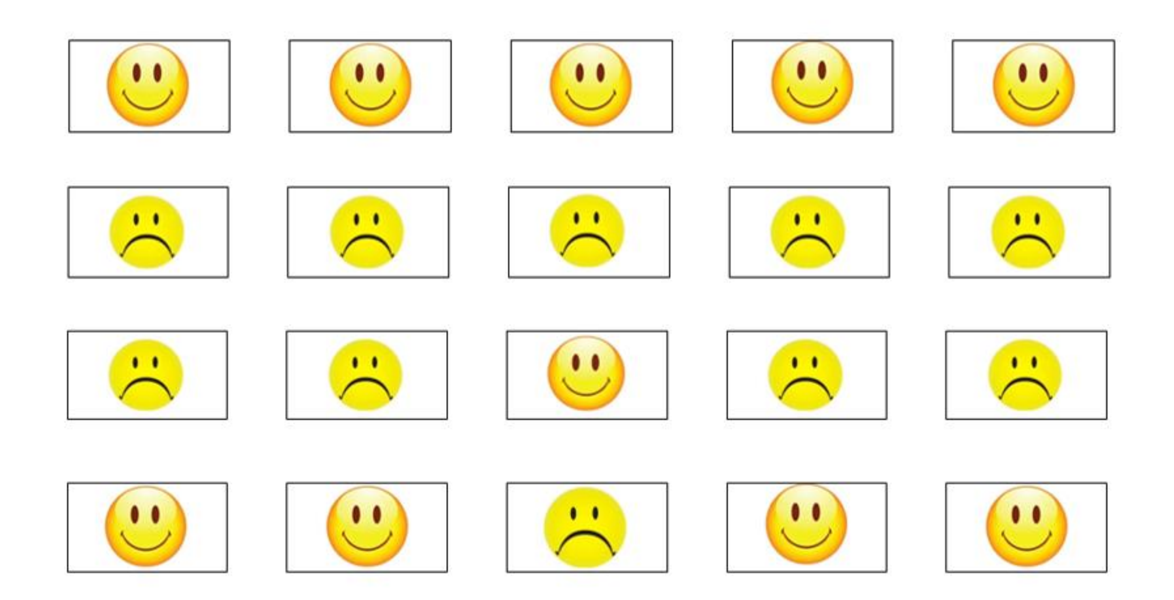


图 2 Emotion Flanker 实验材料

2.3 实验过程

本研究采用单独施测的方式。参与实验的学龄前儿童监护人在填写人口学问卷和相关量表后，儿童需要完成 Fish Flanker 任务和 Emotion Flanker 任务，具体流程如下：

（1）调查对象监护人填写人口信息问卷及相关量表；

（2）在主试的指导下由儿童独立完成 Fish Flanker 任务。首先电脑屏幕中央会呈现 300ms 的黑色注视点“+”，提示被试实验即将开始。之后，五个并行排列的卡通小鱼图案呈现在屏幕中央，最中间的小鱼作为靶刺激，且出现的位置与注视点“+”重叠，呈现时间为 3000ms。实验给儿童们呈现时采取游戏的方式，告诉儿童有一条饥饿的小鱼被其他小鱼包围。这条小鱼总是在中间出现，如果喂它食物它就会很开心。被试需要在图片出现时就进行按键反应，当被试按键后，程序跳到下一个试次。如果不按键就会在 3000ms 后自动出现下一个注视点以及图片刺激。被试的任务是对中间的小鱼朝向方向作反应，而忽略旁边小鱼方向的干扰。在实验中，对小鱼方向要求以左或右手反应的安排在儿童之间进行平衡。实验由练习实验和正式实验两个部分组成，练习实验有 20 个试次，用于被试循环练习来熟悉明白实验程序，正确率达到 80%之后即可进行正式实验。正式实验中有 40 个试次，所有试次在实验中随机呈现，此任务考察被试在不一致条件时的正确按键，故记录被试在不一致条件下的正确率指标，正确率越高表明被试的“冷”抑制控制能力越好。整个实验均在安静明亮的房间内进行。实验流程如图 3 所示：

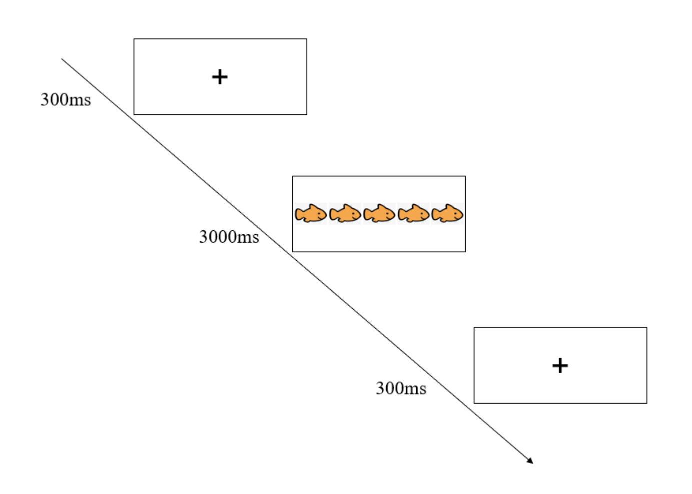


图 3 Fish Flanker 流程图

（3）休息 5-10 分钟后，在主试的指导下由儿童独立完成 Emotion Flanker 任务。首先电脑屏幕中央会呈现 300ms 的黑色注视点“＋”，提示儿童实验即将开始。之后，五个并行排列的卡通表情图案呈现在屏幕中央，最中间的表情作为靶刺激，且出现的位置与注视点“+”重叠，呈现时间为 3000ms。儿童需要在图片出现时就进行按键反应，当被试按键后，程序跳到下一个试次。如果不按键就会在 3000ms 后自动出现下一个注视点以及图片刺激。儿童的任务是对中间的表情作反应，而忽略旁边表情的干扰。如果中间的表情是积极表情，用一只手反应（比如左手）按“F”键进行反应，如果中间的表情是消极表情则用另一只手反应（比如右手）按“H”键进行反应。在实验中，对积极和消极表情要求以左或右手反应的安排在儿童之间进行平衡。实验由练习实验和正式实验两个部分组成，练习实验有 20 个试次，用于儿童循环练习来熟悉明白实验程序，正确率达到 80%之后即可进行正式实验。正式实验中有 40 个试次，所有试次在实验中随机呈现，此任务考察被试在不一致条件时的正确按键，故记录被试在不一致条件下的正确率指标，正确率越高表明被试的“热”抑制控制能力越好。整个实验均在安静明亮的房间内进行。实验流程如图 4 所示：

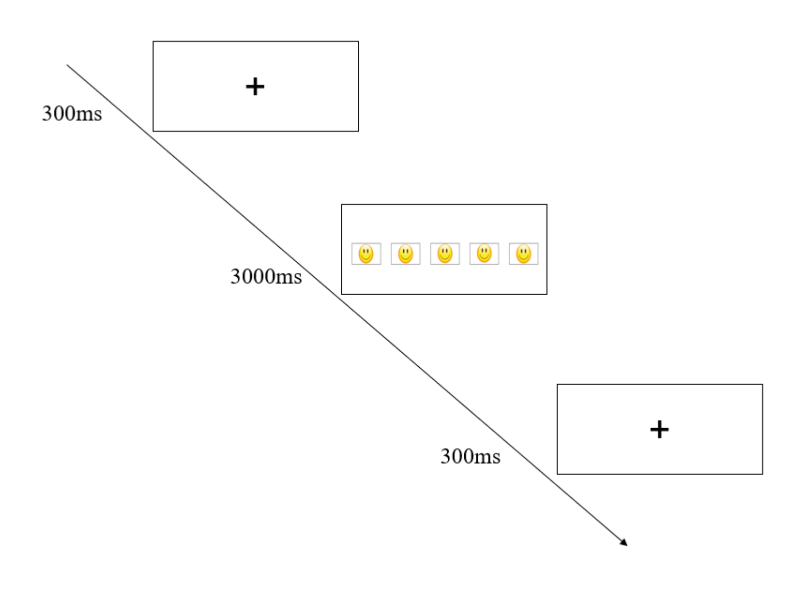


图 4 Emotion Flanker 流程图

2.4 统计分析

统计分析按照 Chastin 等(2015)提出的 24h 动作行为成分分析指南，并运用 R 4.0.5 软件中的 compositions 包(Van & Tolosana-Delgado, 2008)、robcompositions 包(Templ et al., 2011)和 lmtest 包等对成分数据进行统计与分析。

首先，采用成分数据的描述性统计方法呈现 24h 动作行为数据的集中和离散情况：成分数据统计使用成分几何均值描述时间数据的集中趋势，使用变异矩阵即所有成分之间成对比率的对数方差来反映数据的离散情况(Chastin et al., 2015)，方差数值越小，表示两项动作行为之间的关联程度越高；方差数值越大，表示两项动作行为之间的关联程度越低。

其次，由于使用传统的多元线性回归方法对成分数据进行分析时，常常忽略数据定和约束的前提，导致变量间可能产生伪相关和多重共线性的现象(Dumuid et al., 2018)，因此，本研究基于成分数据回归中等距对数比(isometric log-ratio, ILR)转换，在控制性别和年龄等混杂因素的前提下，进行多元回归分析, 以考察 SLP、SB、LPA、MVPA 与抑制控制的关联。

最后，根据拟合的成分回归模型，采用既往研究中时间变量重新分配方法进行时间替换分析(Curtis et al., 2020; Dumuid, Pedisic et al., 2019; Dumuid, Stanford, Martin-Fernandez et al., 2018; Dumuid, Stanford, Pedisic et al., 2018)。King(2016)的研究发现，10 分钟/天不仅是身体活动累积量可以令个体健康受益的最小单位，而且还是久坐行为对健康产生风险的最短持续时间，故在本研究的替代分析中，以 10 分钟为单位，在保持总时间(1440 分钟)和其他活动时间不变的基础上，将某种动作行为的 10 分钟分配给另一种动作行为，计算重新分配时间后的时间分布与原始均值时间分布的抑制控制的差值，以揭示不同动作行为相互替代后抑制控制的变化；同时，为了更清晰地呈现 24h 动作行为之间进行不同时间长度的重新分配时学龄前儿童抑制控制的预测值变化情况，本研究针对成分数据等时替代分析中具有显著替代效应的替代路径，以 10 分钟为增量单位，持续延长时间至 60 分钟，讨论不同替代时长与学龄前儿童抑制控制的“剂量-效应”。

3 结果

3.1 24 小时动作行为的描述性统计结果

成分几何均值结果显示本次研究学龄前儿童日均 SB、LPA、MVPA 和 SLP 四部分的比例依次为 33.5%、14.6%、5.9%和 46.0%，换算为 min/d 为单位，四部分依次为 482.36、209.64、85.60 和 662.40 min/d。成分变异矩阵中接近于零的值表明，在比例中包含的两种行为中花费的时间是高度相互依赖并且最有可能相互发生转化的。因此，由表 1 可知：睡眠和久坐行为、睡眠和低强度身体活动以及久坐行为和低强度身体活动的对数比方差均较小。表明学龄前儿童用于睡眠的时间和久坐行为的时间，睡眠的时间和低强度身体活动的时间，以及久坐行为的时间和低强度身体活动的时间更有可能发生转换。

表 1 成分数据的集中趋势离散程度

	SB	LPA	MVPA	SLP

成分均值/%	33.5	14.6	5.9	46.0
成分均值/(min/d)	482.36	209.64	85.60	662.40
SB	0.00	0.06	0.34	0.06
LPA	0.06	0.00	0.36	0.06
MVPA	0.34	0.36	0.00	0.27
SLP	0.03	0.06	0.27	0.00

注: SB=久坐行为, LPA=低等强度身体活动, MVPA=中高等强度身体活动, SLP=睡眠时间

采用三元图对学龄前儿童 24h 动作行为时间比例分布的结果进行可视化（图 5），结果显示，学龄前儿童 MVPA 时间比例方向的等密度曲线相对其他动作行为方向更离散，即学龄前儿童 MVPA 时间比例的离散程度更大。

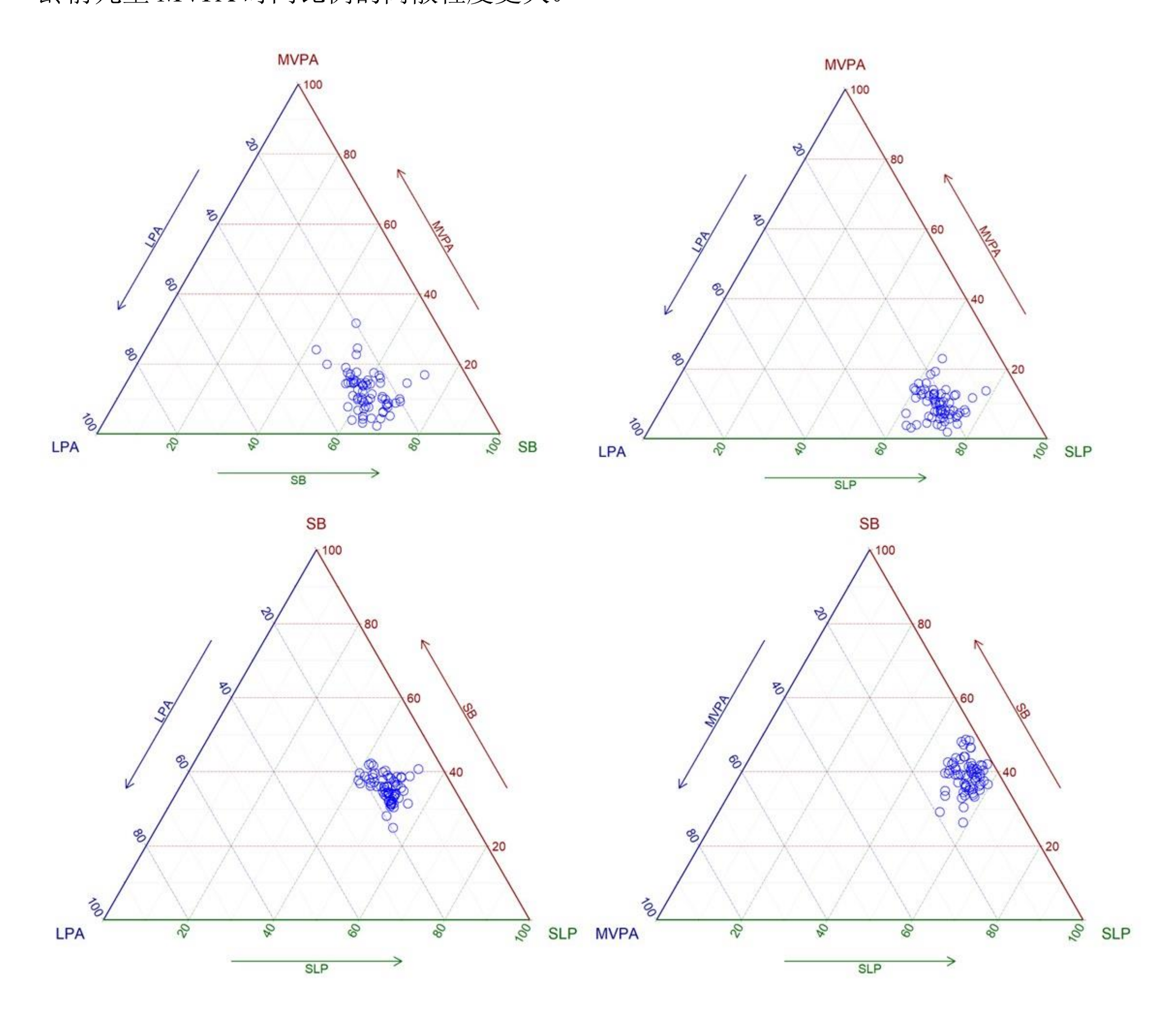


图 5 学龄前儿童 24h 动作行为时间使用比例三元图

3.2 24 小时动作行为与学龄前儿童抑制控制的关联

基于成分数据分析中的等距对数比转换进行多元线性回归分析，探讨不同 24h 动作行为与“冷”、“热”抑制控制指标的相关性。研究结果显示（见表 2），24h 动作行为时间相对分布与“冷”、“热”抑制控制具有显著性相关（$p<0.001$）。具体表现为睡眠时间与“冷”、“热”抑制控制均成显著正相关（“冷”：β=0.39, $p=0.006$；“热”：β=0.63, $p<0.001$），中高等

强度身体活动与“冷”、“热”抑制控制均成显著正相关（β=0.11, *p*<0.001; β=0.08, *p*=0.017），低等强度身体活动与“热”抑制控制成显著负相关（β=-0.20, *p*=0.018）。

表 2 24h 动作行为与抑制控制指标之间的关联

抑制控制	SB		SLP		LPA		MVPA		模型
	β	*p*	β	*p*	β	*p*	β	*p*	*p*
“冷”抑制控制	-0.11	0.323	0.39	0.006	-0.10	0.168	0.11	<0.001	<0.001
“热”抑制控制	0.05	0.667	0.63	<0.001	-0.20	0.018	0.08	0.017	<0.001

注: SB=久坐行为, LPA=低等强度身体活动, MVPA=中高等强度身体活动, SLP=睡眠时间

3.3 24 小时动作行为与学龄前儿童抑制控制的等时替代分析

表 3 显示了当 10 分钟从列中的动作行为重新分配到行中的动作行为且保持其余动作行为不变时“冷”抑制控制和“热”抑制控制的预测差异。

例如，从 SLP 重新分配 10 分钟到 SB 或者 LPA，儿童的预测“冷”抑制控制比预测的平均“冷”抑制控制降低 0.01 (SB: β=–0.010, 95% CI [–0.017, –0.004])或者 0.012 (LPA: β=–0.012, 95% CI [–0.018, –0.005])个单位；从 SB 重新分配 10 分钟到 SLP 或者 MVPA，儿童的预测“冷”抑制控制比预测的平均“冷”抑制控制升高 0.01 (SLP: β=0.010, 95% CI [0.004, 0.017])或者 0.011 (MVPA: β=0.011, 95% CI [0.005, 0.017])个单位；从 LPA 重新分配 10 分钟到 SLP 或者 MVPA，儿童的预测“冷”抑制控制比预测的平均“冷”抑制控制升高 0.012 (SLP: β=0.012, 95% CI [0.005, 0.019]) 或者 0.013 (MVPA: β=0.013, 95% CI [0.005, 0.021])个单位; 从 MVPA 重新分配 10 分钟到 SB 或者 LPA, 儿童的预测“冷”抑制控制比预测的平均“冷”抑制控制降低 0.012 (SB: β=–0.012, 95% CI [–0.018, –0.005]) 或者 0.013 (LPA: β=–0.013, 95% CI [–0.021, –0.005])个单位。

而在“热”抑制控制中，从 SLP 重新分配 10 分钟到 SB 或者 LPA，儿童的预测“热”抑制控制比预测的平均“热”抑制控制降低 0.01 (SB: β=–0.010, 95% CI [–0.017, –0.004])或者 0.017 (LPA: β=–0.017, 95% CI [–0.024, –0.010])个单位；从 SB 重新分配 10 分钟到 SLP，儿童的预测“热”抑制控制比预测的平均“热”抑制控制升高 0.01 (β=0.010, 95% CI [0.003, 0.017])个单位；从 LPA 重新分配 10 分钟到 SLP 或者 MVPA，儿童的预测“热”抑制控制比预测的平均“热”抑制控制升高 0.017(SLP: β=0.017, 95% CI [0.010, 0.025]) 或者 0.014 (MVPA: β=0.014, 95% CI [0.005, 0.022])个单位;从 MVPA 重新分配 10 分钟到 LPA，儿童的预测“热”抑制控制比预测的平均“热”抑制控制降低 0.013 (β=–0.013, 95% CI [–0.022, –0.004])个单位。

表 3 24h 动作行为 10min 等时替代与抑制控制之间的关联情况

	SLP	SB	LPA	MVPA
“冷”抑制控制				
SLP	---	**–0.010** **(-0.017, -0.004)***	**–0.012** **(–0.018, –0.005)***	0.001 (–0.007, 0.009)
SB	**0.010**	---	–0.001	**0.011**

		(0.004, 0.017)*		(–0.008, 0.006)	**(0.005, 0.017)***
	LPA	**0.012** **(0.005, 0.019)***	0.002 (–0.006, 0.009)	---	**0.013** **(0.005, 0.021)***
	MVPA	–0.002 (–0.010, 0.007)	**–0.012** **(–0.018, –0.005)***	**–0.013** **(–0.021, –0.005)***	---
“热”抑制控制					
	SLP	---	**–0.010** **(–0.017, –0.004)***	**–0.017** **(–0.024, –0.010)***	–0.004 (–0.013,0.005)
	SB	**0.010** **(0.003,0.017)***	---	–0.006 (–0.014,0.001)	0.007 (0.000,0.013)
	LPA	**0.017** **(0.010,0.025)***	0.007 (–0.001,0.015)	---	**0.014** **(0.005,0.022)***
	MVPA	0.004 (–0.006,0.013)	–0.007 (–0.014, 0.000)	**–0.013** **(–0.022, –0.004)***	---

注: SB=久坐行为, LPA=低等强度身体活动, MVPA=中高等强度身体活动, SLP=睡眠时间；列表示替换变量，行表示被替换变量；*p<0.05, **p<0.01

3.4 24 小时动作行为重新分配与学龄前儿童抑制控制的“剂量-效应”

为了探索持续时间分配中学龄前儿童抑制控制能力的变化规律，本研究针对具有显著时间分配效应的 24 小时动作行为元素，以 10 分钟为一次增量，持续时间至 60 分钟，进一步分析不同分配时长与学龄前儿童“冷”抑制控制、“热”抑制控制的“剂量-效应”关系。

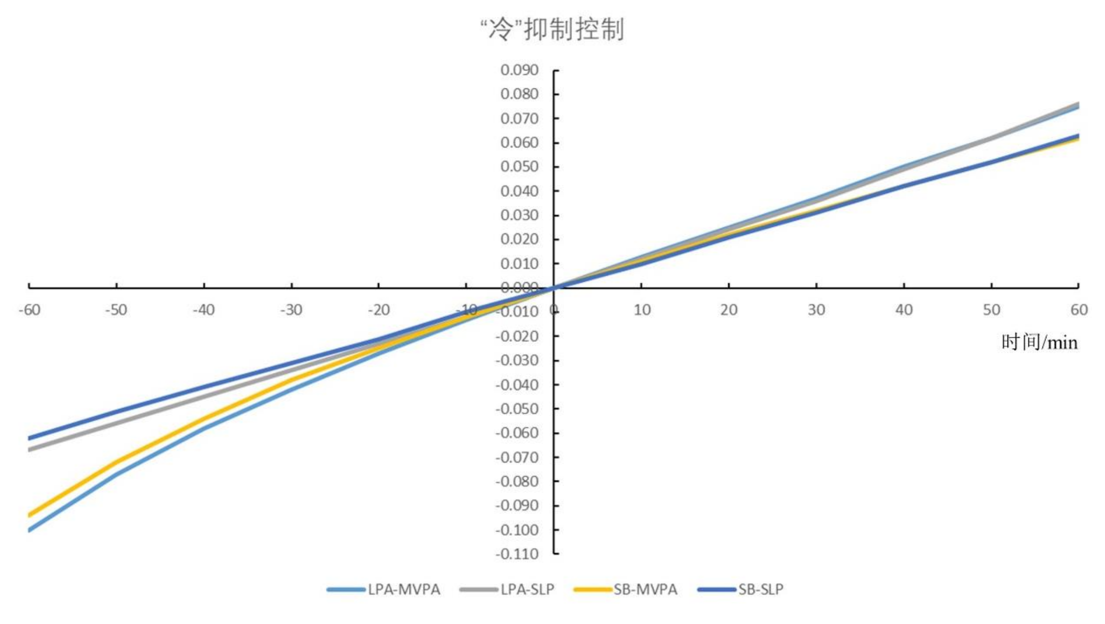


图 6 学龄前儿童 24h 动作行为时间重新分配对“冷”抑制控制的影响

（SB=久坐行为, LPA=低等强度身体活动, MVPA=中高等强度身体活动, SLP=睡眠时间）

如图 6、7 所示，本研究发现：MVPA 与其他动作行为时间（LPA、SB）的重新分配效

应具有不对称性，即 MVPA 时间替代其他动作行为时对“冷”抑制控制的上升效应低于其他动作行为时间替代 MVPA 的降低效应；而 LPA 与 SLP 的相互替代对“冷”、“热”抑制控制的影响差异并不明显，如将 10 分钟 LPA 替代 SLP 后，“冷”抑制控制显著减少 0.012 个单位，反之则显著增加 0.012 个单位，“热”抑制控制显著减少 0.017 个单位，反之则显著增加 0.017 个单位，（见表 4）。其次，剂量-效应曲线显示随着 MVPA 时间持续替代 LPA 与 SB 时，学龄前儿童“冷”抑制控制水平不断提高，但 MVPA 时间替代 LPA 时“冷”抑制控制上升幅度最大，即效应最大。在“热”抑制控制方面，睡眠时间替代 LPA 时“热”抑制控制上升幅度最大，效应最大。

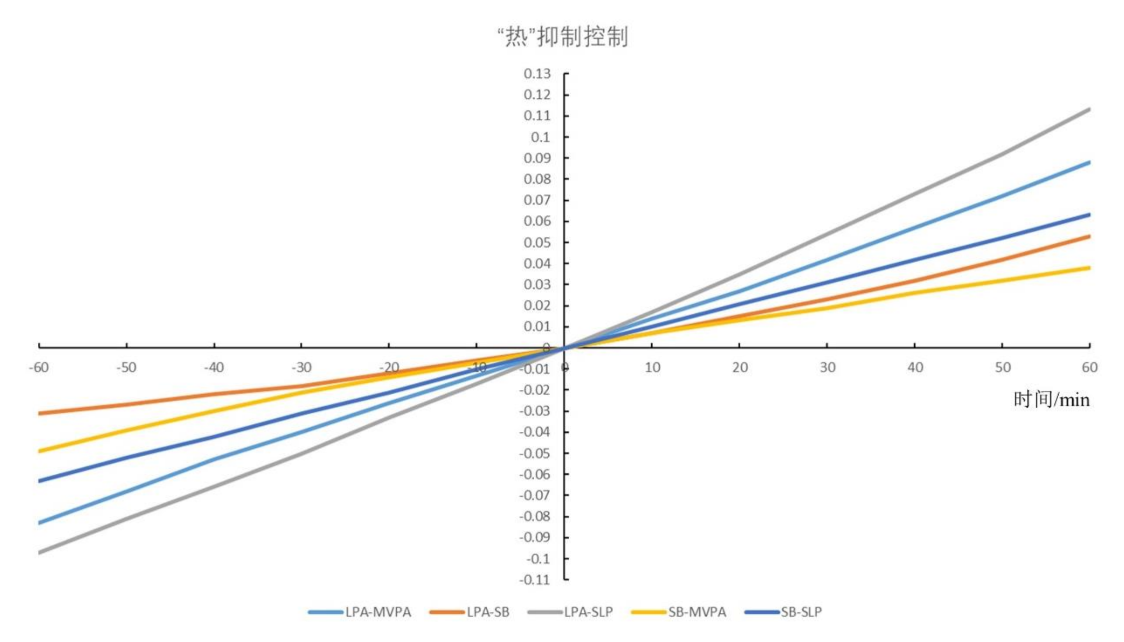


图 7 学龄前儿童 24h 动作行为时间重新分配对“热”抑制控制的影响

（SB=久坐行为, LPA=低等强度身体活动, MVPA=中高等强度身体活动, SLP=睡眠时间）

4 讨论

本研究旨在探讨 24 小时动作行为与学龄前儿童抑制控制之间的关系，以及不同动作行为之间的等时替代效应。虽然之前的研究已经探究了学龄前儿童身体活动和“冷”、“热”抑制控制之间的关系(Giordano & Alesi, 2022; Li et al., 2011; Tsai, 2009)或久坐行为(Chen & Muggleton, 2020; McNeill et al., 2021; Tandon et al., 2018)、睡眠(Bernier et al., 2021; Chen et al., 2021)和“冷”、“热”抑制控制之间的关系，但据笔者所知，本研究是第一个综合分析学龄前儿童 24 小时动作行为与其“冷”、“热”抑制控制之间关系的研究。同时，之前关于针对学龄前儿童身体活动、久坐行为和睡眠时间与其认知发展的多项系统综述(Carson, Hunter et al., 2016; Carson, Kuzik et al., 2015; Reynaud et al., 2018)均表明相关研究数量较少且关联的证据等级为“非常低”，说明增加类似研究是非常是有必要的。此外，尽管之前的一些研究(Bu et al., 2021; Curtis et al., 2020; Stamatakis et al., 2015)已经探索了其他年龄段的 24 小时动作行为和健康结果的等时替代关系，但在成分数据和等时替代的框架方法背景下，这是第一次研究 24 小时动作行为与学龄前儿童“冷”、“热”抑制控制之间的关系。

本研究的主要发现表明，当将不同动作行为视为24小时的行为组成时，可以看到一种显著的正相关，它们可以分别解释33%和29%的“冷”、“热”抑制控制的变化。此外，我们发现每日24小时动作行为组成的个别成分的重新分配与“冷”、“热”抑制控制的变化相关。在一项纵向研究中，Li Xin 等人(2022)评估了 12 周课外运动与青少年抑制控制能力之间的关系，结果显示高剂量运动组抑制控制能力明显优于对照组，而低剂量运动组无显著影响。我们的结果与 Li Xin 等人一致，因此，对于抑制控制，增加 MVPA，同时减少 SB 或者 LPA，可能预期会产生显著和积极的结果。事实上，从生态学的角度来看，抑制控制能力可能会在幼儿游戏期间发挥作用(Koepp et al., 2022)，因此，本研究预期 MVPA 与抑制控制能力有关，在儿童生活中增加 MVPA 和减少 SB 可能对他们的抑制控制有长期有益的影响。

4.1 24 小时动作行为与学龄前儿童“冷”抑制控制的关联

在“冷”抑制控制与24小时动作行为关联的研究中，结果表明 SLP、MVPA 与“冷”抑制控制呈现显著正相关关系（$p<0.05$），这与以往研究的结果保持一致(Cremone et al., 2017;Li et al., 2022)；等时替代结果显示，将10分钟的 SB 或者 LPA 重新分配给 MVPA，学龄前儿童的“冷”抑制控制改善是显著的，而将10分钟的 SB 重新分配给 LPA，学龄前儿童的“冷”抑制控制是没有显著改善的。这一发现揭露了一个关于这个年龄段身体活动的重要问题：身体活动强度越高，“冷”抑制控制的表现越好。这可能是由于中高等强度身体活动时大脑血流量增加所带来的好处(Khan & Hillman, 2014)；同时，将10分钟的 SB 或者 LPA 重新分配给 SLP，学龄前儿童的“冷”抑制控制改善也是显著的，这体现了睡眠在学龄前儿童“冷”抑制控制的发展中的重要作用。

然而，本研究结果表明：以10分钟 LPA 代替 SB 对“冷”抑制控制无明显影响。因此，在身体活动层面似乎只有通过 MVPA 才能对“冷”抑制控制产生有意义的影响，这一点得到了一项针对学龄前儿童的系统综述(Poitras et al., 2016)的支持，该综述显示，包括身体健康在内的多个健康指标仅与 MVPA 相关。虽然将 MVPA 时间替代 LPA、SB 均可促进学龄前儿童“冷”抑制控制的发展，但“剂量-效应”曲线进一步表明 MVPA 时间替代 LPA 对“冷”抑制控制的促进效应最佳。

4.2 24 小时动作行为与学龄前儿童“热”抑制控制的关联

以往在身体活动领域与学龄前儿童抑制控制联系起来的研究主要集中在“冷”抑制控制(Tandon et al., 2018)。诚然，在整个生命过程中改善“冷”抑制控制是至关重要的，特别是在儿童群体中，“冷”抑制控制可能与其身心健康(Carson et al., 2016; Li et al., 2022)、学业发展(Jiang et al., 2022)、高级认知功能(Wang & Chen, 2012)等相关因素有关。然而，近期研究发现，情绪抑制的能力即“热”抑制控制在学龄前儿童的认知发展和避免行为问题中同样起着至关重要的作用(Romero-López et al., 2021)，但是目前往往在研究中被忽略。

在“热”抑制控制与24小时动作行为关联的研究中，结果表明 SLP、LPA、MVPA 与“热”抑制控制均呈现显著正相关关系（$p<0.05$）；等时替代结果显示，将10分钟的 SB、LPA 重新分配给 SLP，学龄前儿童的“热”抑制控制改善均是显著的；将10分钟的 LPA 重

新分配给 MVPA，学龄前儿童的“热”抑制控制改善也均是显著的；此外，当降低 SLP 并增加 SB 或者 LPA 时，“热”抑制控制会发生负向变化，10 分钟时的单位变化为 0.01 或者 0.017，而当降低 MVPA 并增加 LPA 时，“热”抑制控制在重新分配的 10 分钟达到 0.013 个单位变化。这表明 MVPA 和 SLP 在学前儿童“热”抑制控制发展中起着至关重要的作用，同以往研究(Spencer, 2021; Yu et al., 2022)结果保持一致。

本研究的主要优势是采用了一种新的方法来探究不同动作行为和抑制控制之间的关系。此外，据作者所知，这是第一次在学龄前儿童“冷”、“热”抑制控制的背景下研究成分数据分析和等时间替代的工作。然而，尽管本研究新颖，但仍具有一些局限性：本研究所使用的成分数据分析方法并没有区分儿童在久坐行为中所进行的活动类型。事实上，有证据表明，特定形式的久坐行为（例如，阅读、拼图）可能会对儿童的认知发展产生正向的效果(Lemos et al., 2021)。因此，从整体上看，对不同久坐模式与儿童认知发展的关系的探索可以作为进一步探索的方向。此外，本研究是横断面研究，虽然在变量之间发现了显著的相关性，但并不能从中得出因果关系；且目前的研究只招募了来自陕西省的学龄前儿童，研究结果可能不适用于生活在其他地区的学龄前儿童群体。最后，本研究采用自我报告式问卷收集数据，容易受到回忆偏差和社会赞许性效应的影响。

5 结论

本研究表明，“冷”、“热”抑制控制的变化可以用学龄前儿童的日常 24 小时动作行为成分来解释。目前的研究表明，当作为一个连续体进行分析时，24 小时动作行为显著地预测了儿童的抑制控制。结果证明，以牺牲 SB 和 LPA 为代价增加 MVPA 的时间，或者牺牲 SB、LPA 为代价增加 SLP 的时间与学龄前儿童“冷”、“热”抑制控制的积极变化有关。未来相关教育者提升学龄前儿童“冷”、“热”抑制控制水平时需着眼于 24h 动作行为整体的促进，其中通过增加 MVPA、SLP 和降低 SB、LPA 是提升学龄前儿童“冷”、“热”抑制控制水平的有效方法之一。

参考文献

Bernier, A., Cimon-Paquet, C., & Tétreault, É. (2021). Sleep development in preschool predicts executive functioning in early elementary school. In *Advances in child development and behavior* (Vol. 60, pp. 159-178). JAI.

Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental review*, *30*(4), 331-351.

Bezerra, T. A., Clark, C. C. T., Souza Filho, A. N. D., Fortes, L. D. S., Mota, J. A. P. S., Duncan, M. J., & Martins, C. M. D. L. (2021). 24-hour movement behaviour and executive function in preschoolers: a compositional and isotemporal reallocation analysis. *European journal of sport science*, *21*(7), 1064-1072.

Bruni, O., Melegari, M. G., Esposito, A., Sette, S., Angriman, M., Apicella, M., ... & Ferri, R. (2020). Executive functions in preschool children with chronic insomnia. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *16*(2), 231-241.

Bu, H., He, A., Gong, N., Huang, L., Liang, K., Kastelic, K., ... & Chi, X. (2021). Optimal movement behaviors: correlates and associations with anxiety symptoms among Chinese university students. *BMC public health*, *21*, 1-11.

Carson, V., Chaput, J. P., Janssen, I., & Tremblay, M. S. (2017). Health associations with meeting new 24-hour movement guidelines for Canadian children and youth. *Preventive Medicine*, *95*, 7-13.

Carson, V., Hunter, S., Kuzik, N., Wiebe, S. A., Spence, J. C., Friedman, A., ... & Hinkley, T. (2016). Systematic review of physical activity and cognitive development in early childhood. *Journal of science and medicine in sport*, *19*(7), 573-578.

Carson, V., Hunter, S., Kuzik, N., Gray, C. E., Poitras, V. J., Chaput, J. P., Saunders, T. J., Katzmarzyk, P. T., Okely, A. D., Connor Gorber, S., Kho, M. E., Sampson, M., Lee, H., & Tremblay, M. S. (2016). Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in school-aged children and youth: an update. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, *41*(6 Suppl 3), S240–S265.

Carson, V., Kuzik, N., Hunter, S., Wiebe, S. A., Spence, J. C., Friedman, A., ... & Hinkley, T. (2015). Systematic review of sedentary behavior and cognitive development in early childhood. *Preventive medicine*, *78*, 115-122.

Carson, V., Lee, E. Y., Hewitt, L., Jennings, C., Hunter, S., Kuzik, N., Stearns, J. A., Unrau, S. P., Poitras, V. J., Gray, C., Adamo, K. B., Janssen, I., Okely, A. D., Spence, J. C., Timmons, B. W., Sampson, M., & Tremblay, M. S. (2017). Systematic review of the relationships between physical activity and health indicators in the early years (0-4 years). *BMC public health*, *17*(Suppl 5), 854.

Chaput, J. P., Gray, C. E., Poitras, V. J., Carson, V., Gruber, R., Olds, T., Weiss, S. K., Connor Gorber, S., Kho, M. E., Sampson, M., Belanger, K., Eryuzlu, S., Callender, L., & Tremblay, M. S. (2016). Systematic review of the relationships between sleep duration and health indicators in school-aged children and youth. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme,* 41(6 Suppl 3), S266–S282.

Chastin, S. F., Palarea-Albaladejo, J., Dontje, M. L., & Skelton, D. A. (2015). Combined effects of time spent in

physical activity, sedentary behaviors and sleep on obesity and cardio-metabolic health markers: a novel compositional data analysis approach. *PloS one*, *10*(10), e0139984.

Chen, C. Y., & Muggleton, N. G. (2020). Electrophysiological investigation of the effects of Tai Chi on inhibitory control in older individuals. *Progress in Brain Research*, *253*, 229-242.

Chen, Y., Wang, Y., Wang, S., Zhang, M., & Wu, N. (2021). Self-reported sleep and executive function in early primary school children. *Frontiers in Psychology*, *12*, 793000.

Cho, S., Philbrook, L. E., Davis, E. L., & Buss, K. A. (2017). Sleep duration and RSA suppression as predictors of internalizing and externalizing behaviors. *Developmental psychobiology*, *59*(1), 60-69.

Cremone, A., McDermott, J. M., & Spencer, R. M. (2017). Naps enhance executive attention in preschool-aged children. *Journal of Pediatric Psychology*, *42*(8), 837-845.

Curtis, R. G., Dumuid, D., Olds, T., Plotnikoff, R., Vandelanotte, C., Ryan, J., ... & Maher, C. (2020). The association between time-use behaviors and physical and mental well-being in adults: a compositional isotemporal substitution analysis. *Journal of Physical Activity and Health*, *17*(2), 197-203.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, *64*, 135-168.

Dumuid, D., Pedišić, Ž., Stanford, T. E., Martín-Fernández, J. A., Hron, K., Maher, C. A., ... & Olds, T. (2019). The compositional isotemporal substitution model: a method for estimating changes in a health outcome for reallocation of time between sleep, physical activity and sedentary behaviour. *Statistical methods in medical research*, *28*(3), 846-857.

Dumuid, D., Stanford, T. E., Martin-Fernández, J. A., Pedišić, Ž., Maher, C. A., Lewis, L. K., ... & Olds, T. (2018). Compositional data analysis for physical activity, sedentary time and sleep research. *Statistical methods in medical research*, *27*(12), 3726-3738.

Dumuid, D., Stanford, T. E., Pedišić, Ž., Maher, C., Lewis, L. K., Martín-Fernández, J. A., ... & Olds, T. (2018). Adiposity and the isotemporal substitution of physical activity, sedentary time and sleep among school-aged children: a compositional data analysis approach. *BMC public health*, *18*, 1-10.

Ekblom-Bak, E., Ekblom, Ö., Bergström, G., & Börjesson, M. (2016). Isotemporal substitution of sedentary time by physical activity of different intensities and bout lengths, and its associations with metabolic risk. *European journal of preventive cardiology*, *23*(9), 967-974.

Fairclough, S. J., Dumuid, D., Taylor, S., Curry, W., McGrane, B., Stratton, G., ... & Olds, T. (2017). Fitness, fatness and the reallocation of time between children's daily movement behaviours: an analysis of compositional data. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *14*(1), 1-12.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, *39*(2), 175-191.

Gapin, J., & Etnier, J. L. (2010). The relationship between physical activity and executive function performance in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of sport & exercise psychology,* 32(6), 753–763.

Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological bulletin,* 134(1), 31–60.

Ghanbari, S., Vahidi, E., Behzadpoor, S., Goudarzi, Z., & Ghabezi, F. (2023). Parental reflective functioning and preschool children’s psychosocial functioning: the mediating role of children’s emotion regulation. *European Journal of Developmental Psychology*, *20*(2), 229-250.

Giordano, G., & Alesi, M. (2022). Does physical activity improve inhibition in kindergarteners? A pilot study. *Perceptual and Motor Skills*, *129*(4), 1001-1013.

Grgic, J., Dumuid, D., Bengoechea, E. G., Shrestha, N., Bauman, A., Olds, T., & Pedisic, Z. (2018). Health outcomes associated with reallocations of time between sleep, sedentary behaviour, and physical activity: a systematic scoping review of isotemporal substitution studies. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *15*(1), 1-68.

Harrington, E. M., Trevino, S. D., Lopez, S., & Giuliani, N. R.. (2020). Emotion regulation in early childhood: implications for socioemotional and academic components of school readiness. *Emotion,* 20(1), 48-53.

Hillman, C. H., & Biggan, J. R. (2017). A Review of Childhood Physical Activity, Brain, and Cognition: Perspectives on the Future. *Pediatric exercise science,* 29(2), 170–176.

Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, *159*(3), 1044-1054.

Jiang, S., Ma, L., & Chen, B. (2023). Dynamic engagement of cognitive control in intra-sentential code-switching during comprehension. *Bilingualism: Language and Cognition*, *26*(1), 62-77.

Khan, N. A., & Hillman, C. H. (2014). The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: a review. *Pediatric exercise science*, *26*(2), 138-146.

King, W. C., Chen, J. Y., Courcoulas, A. P., Mitchell, J. E., Wolfe, B. M., Patterson, E. J., ... & Belle, S. H. (2016). Objectively-measured sedentary time and cardiometabolic health in adults with severe obesity. *Preventive medicine*, *84*, 12-18.

Koepp, A. E., Gershoff, E. T., Castelli, D. M., & Bryan, A. E. (2022). Preschoolers’ executive functions following indoor and outdoor free play. *Trends in Neuroscience and Education*, 100182.

Lemos, L., Clark, C., Brand, C., Pessoa, M. L., Gaya, A., Mota, J., ... & Martins, C. (2021). 24-hour movement behaviors and fitness in preschoolers: A compositional and isotemporal reallocation analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *31*(6), 1371-1379.

Li, L., Yu, Q., Zhao, W., Herold, F., Cheval, B., Kong, Z., ... & Zou, L. (2021). Physical activity and inhibitory control: The mediating role of sleep quality and sleep efficiency. *Brain Sciences*, *11*(5), 664.

Li, S., Guo, J., Zheng, K., Shi, M., & Huang, T. (2022). Is sedentary behavior associated with executive function in children and adolescents? A systematic review. *Frontiers in Public Health*, *10*, 832845.

Li, X., Wang, Z., Wang, Y., Li, X., & Li, D. (2022). Effect of exercise on inhibitory control is dose-dependent for adolescents. *Sports Medicine and Health Science*, *4*(1), 54-60.

Li, Y. (2011). *The development of preschool children's inhibition control, its influencing factors and its relationship with social adaptation* (Unpublished master’s thesis). Shanghai Normal University.

[李滢. (2011). *学龄前儿童抑制控制的发展、影响因素及其与社会适应的关系*(硕士学位论文).上海师范大学.]

Li, Y., Zhou, T., Lu, Y., Sang, M., Liu, J., He, X., & Quan, M. (2022). The association between the health-related physical fitness and inhibitory control in preschool children. *BMC pediatrics*, *22*(1), 1-10.

Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology,* 53(11), 1611–1626.

McNeill, J., Howard, S. J., Vella, S. A., & Cliff, D. P. (2021). Cross-sectional associations of application use and media program viewing with cognitive and psychosocial development in preschoolers. *International journal of environmental research and public health*, *18*(4), 1608.

Mekary, R. A., Lucas, M., Pan, A., Okereke, O. I., Willett, W. C., Hu, F. B., & Ding, E. L. (2013). Isotemporal substitution analysis for physical activity, television watching, and risk of depression. *American journal of epidemiology*, *178*(3), 474-483.

Mekary, R. A., Willett, W. C., Hu, F. B., & Ding, E. L. (2009). Isotemporal substitution paradigm for physical activity epidemiology and weight change. *American journal of epidemiology*, *170*(4), 519-527.

Park, S., Chun, H., Etnier, J. L., & Yun, D. (2023). Exploring the Mediating Role of Executive Function in the Relationship between Aerobic Fitness and Academic Achievement in Adolescents. *Brain Sciences*, *13*(4), 614.

Pedišić, Ž., Dumuid, D., & S Olds, T. (2017). Integrating sleep, sedentary behaviour, and physical activity research in the emerging field of time-use epidemiology: definitions, concepts, statistical methods, theoretical framework, and future directions. *Kinesiology*, *49*(2.), 252-269.

Poitras, V. J., Gray, C. E., Borghese, M. M., Carson, V., Chaput, J. P., Janssen, I., ... & Tremblay, M. S. (2016). Systematic review of the relationships between objectively measured physical activity and health indicators in school-aged children and youth. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, *41*(6), S197-S239.

Prochaska, J. O. (2008). Multiple health behavior research represents the future of preventive medicine. *Preventive medicine*, *46*(3), 281-285.

Rai, J., Predy, M., Wiebe, S. A., Rinaldi, C., Zheng, Y., & Carson, V. (2023). Patterns of preschool children's screen time, parent–child interactions, and cognitive development in early childhood: a pilot study. *Pilot and Feasibility Studies*, *9*(1), 39.

Reynaud, E., Vecchierini, M. F., Heude, B., Charles, M. A., & Plancoulaine, S. (2018). Sleep and its relation to cognition and behaviour in preschool-aged children of the general population: A systematic review. *Journal of sleep research*, *27*(3), e12636.

Romero-López, M., Pichardo, M. C., Justicia-Arráez, A., & Bembibre-Serrano, J. (2021). Reducing aggression by developing emotional and inhibitory control. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(10), 5263.

Sampasa-Kanyinga, H., Colman, I., Goldfield, G. S., Janssen, I., Wang, J., Podinic, I., ... & Chaput, J. P. (2020). Combinations of physical activity, sedentary time, and sleep duration and their associations with depressive symptoms and other mental health problems in children and adolescents: a systematic review. *International*

Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, *17*(1), 1-16.

Spencer, R. M. (2021). The role of naps in memory and executive functioning in early childhood. *Advances in child development and behavior*, *60*, 139-158.

Stamatakis, E., Rogers, K., Ding, D., Berrigan, D., Chau, J., Hamer, M., & Bauman, A. (2015). All-cause mortality effects of replacing sedentary time with physical activity and sleeping using an isotemporal substitution model: a prospective study of 201,129 mid-aged and older adults. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *12*(1), 1-10.

Tandon, P. S., Klein, M., Saelens, B. E., Christakis, D. A., Marchese, A. J., & Lengua, L. (2018). Short term impact of physical activity vs. sedentary behavior on preschoolers' cognitive functions. *Mental Health and Physical Activity*, *15*, 17-21.

Templ, M., Hron, K., & Filzmoser, P. (2011). robCompositions: an R-package for robust statistical analysis of compositional data. *Compositional data analysis: Theory and applications*, 341-355.

Tremblay, M. S., Carson, V., Chaput, J. P., Connor Gorber, S., Dinh, T., Duggan, M., Faulkner, G., Gray, C. E., Gruber, R., Janson, K., Janssen, I., Katzmarzyk, P. T., Kho, M. E., Latimer-Cheung, A. E., LeBlanc, C., Okely, A. D., Olds, T., Pate, R. R., Phillips, A., Poitras, V. J., … Zehr, L. (2016). Canadian 24-Hour Movement Guidelines for Children and Youth: An Integration of Physical Activity, Sedentary Behaviour, and Sleep. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, *41*(6 Suppl 3), S311–S327.

Tsai, C. L. (2009). The effectiveness of exercise intervention on inhibitory control in children with developmental coordination disorder: Using a visuospatial attention paradigm as a model. *Research in developmental disabilities*, *30*(6), 1268-1280.

Van den Boogaart, K. G., & Tolosana-Delgado, R. (2008). "Compositions": a unified R package to analyze compositional data. *Computers & Geosciences*, *34*(4), 320-338.

WANG, J., & CHEN, T. Y. (2012). Inhibitory control and higher cognitive functions. *Advances in Psychological Science*, *20*(11), 1768.

Wang, L. F. (2013). Preschool Children' s Emotional Regulation and Inhibitory Control. *Studies in Early Childhood Education,* (03):56-62.

[王玲凤. (2013). 幼儿情绪调节与"冷""热"抑制控制的发展特点.*学前教育研究,* (03):56-62.]

Wu, H. J. (2018). *The Study of the Characteristics and InfluencingFactors of Physical Activity among Preschool Children(3-6year)* (Unpublished master's thesis). Air Force Medical University, Xi'an.

[吴海军. (2018). *学龄前儿童（3-6 岁）体力活动特征与影响因素研究*(硕士学位论文).中国人民解放军空军军医大学，西安.]

Wu, X., Tao, S., Rutayisire, E., Chen, Y., Huang, K., & Tao, F. (2017). The relationship between screen time, nighttime sleep duration, and behavioural problems in preschool children in China. *European child & adolescent psychiatry*, *26*(5), 541–548.

Yu, C. C., Chen, C. Y., Muggleton, N. G., Ko, C. H., & Liu, S. (2022). Acute exercise improves inhibitory control

but not error detection in male violent perpetrators: an ERPs study with the emotional stop signal task. *Frontiers in human neuroscience*, *16*, 796180.

Zelazo, P. D., Carlson, S. M., & Kesek, A. (2008). The development of executive function in childhood. *In C. A. Nelson & M. Luciana (Eds.)*, Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience (2nd ed., pp. 553-574). MIT Press

Zhang, T., & Li, H. J. (2020). Application Prospects of Compositional Data Analysis Method in Physical Activity and Health. *China Sport Science,* (09),74-82+97.

[张婷，李红娟. (2020). 成分数据分析方法在身体活动与健康研究领域的应用展望. *体育科学,* (09),74-82+97.]

Zhang, T., Li, H. J., Zhang, Z. H. & Gao, Y. H. (2023). A systematic review of the association between 24-hour movement behavior and obesity in children and adolescents. *Chinese Journal of School Health,* (01):23-27.

[张婷，李红娟，张曌华，郜艳晖. (2023). 儿童青少年 24 h 活动行为与肥胖关联的系统评价. *中国学校卫生*, (01):23-27.]

Ziereis, S., & Jansen, P. (2015). Effects of physical activity on executive function and motor performance in children with ADHD. *Research in developmental disabilities*, *38*, 181-191.

Isotemporal Substitution Effect of 24h Movement Behavior on Inhibitory Control of Preschool Children

Zhu Zhaohong[2] Zhang Shichen[1]* Xu Qinyu[1] Mao Junxi[1] Chen Yuanyuan[1] Wen Xiaoni[2]
1 Graduate School, Xi'an Physical Education University, Xi'an, 71000
2 School of Exercise and Health Sciences, Xi'an Physical Education University, Xi'an, 710000

Abstract

Preschool-aged children are situated within a crucial phase for the enhancement of their inhibitory control capabilities. Recent investigations have unveiled that the inhibitory control of preschoolers is not a simplistic, unidimensional construct. Rather, it progressively divides into "hot" inhibition and "cold" inhibition, with these facets maturing as children grow older. Remarkably, all two aspects bear substantial significance for the advancement of children's higher cognitive capacities and emotional regulation proficiencies. Prior inquiries have indicated that a solitary 24-hour movement behavior, such as physical activity, sedentary conduct, or sleep, possesses the potential to influence the inhibitory control abilities of preschool children. Nonetheless, some scholars have critiqued the flawed approach of examining the impact of isolated movement behaviors on cognitive development. Consequently, new research endeavors should adopt a comprehensive perspective, investigating the collective influence of these three behaviors in order to comprehensively analyze their effects on the psychological development of preschool children.

Therefore, this study combined questionnaire measurement and behavioral experiments, and used the Isotemporal substitution model of compositional data to explore the association between 24-hour Movement behavior and "cold" and "hot" inhibition control in preschool children. Based on inclusion/exclusion criteria and their parents' answers to a self-reported questionnaire, 66 preschoolers (3-6 years) were investigated in this study. Relevant questionnaires were used to measure 24-hour movement behavior, and Fish flanker and Emotional flanker paradigms were used to measure the "cold" and "hot" inhibitory control of preschoolers. The time of light physical activity (LPA), moderate-to-vigorous physical activity (MVPA) and sedentary behavior (SB) were calculated according to the range specified by the authors. Sleep duration (SLP) was measured using a self-compiled questionnaire consistent with previous studies; the correct rate indexes of Fish Flanker and Emotion Flanker tasks were automatically recorded by the computer.

The results showed that the temporal distribution of 24-hour movement behavior were

statistically significant ($p<0.001$) with “cold” and “hot” inhibitory control of preschoolers. The isotemporal substitution results show the difference in prediction between “cold” and “hot” inhibitory control when 10 minutes of movement behavior is reassigned to other movement behaviors and the remaining movement behaviors remain unchanged. In terms of “cold” inhibitory control, isotemporal substitution analysis revealed that the correct rate of “cold” inhibitory control increased significantly after 10 minutes of SLP replaced SB or LPA, and this also happened after MVPA replaced SB or LPA. In terms of “hot” inhibitory control, when SB, LPA were reassigned for 10 minutes to SLP, the predicted “hot” inhibitory control of children was higher than the predicted average “hot” inhibitory control. Whereas the opposite allocation pattern (10 min reallocation from SLP to SB, LPA) predicted the opposite “hot” inhibitory control change, but these relationships were asymmetrical.

In conclusion, during the preschool stage, inhibitory control is influenced by 24-hour movement behaviors, and this influence varies depending on the different combinations of these behaviors. When comparing light physical activity (LPA) and moderate-to-vigorous physical activity (MVPA), substituting sedentary behavior (SB) with moderate-to-vigorous physical activity (MVPA) and sleep duration (SLP) yields the most notable enhancement in children's inhibitory control. This study explored the relationship between 24-hour movement behavior and “cold” and “hot” inhibitory control of preschool children, which can provide scientific basis for the cultivation of inhibitory control ability of preschool children and 24-hour exercise guidelines.

***Keywords*:** Preschool children, 24-hour Movement Behavior, “cold”, “hot” Inhibitory Control, Isotemporal Substitution Analysis